

Approche expérimentale des effets de la diffraction sur la formation des images

Fiche professeur - TS - enseignement de spécialité

par J. WALLON

1. OBJECTIFS

Montrer que le diamètre de la lentille objective (diamètre d'ouverture) d'une petite lunette de T.P., astronomique ou de Galilée, limite le pouvoir séparateur de l'instrument (capacité à séparer deux sources ponctuelles voisines observées à quelques mètres et simulant deux étoiles proches).

Mise en évidence de la diffraction par le diamètre d'ouverture.

Influence de la longueur d'onde sur le pouvoir séparateur.

Pour les élèves, l'étude est exclusivement qualitative.

2. RAPPELS DES PROGRAMMES

Activités expérimentales

Illustrer l'effet de la diffraction sur la formation des images.

Compétences exigibles

Montrer expérimentalement l'effet de la diffraction sur la formation des images.

Approfondissement

Limites à la résolution. Le phénomène de diffraction sans formalisme.

3. MATÉRIELS

Dix groupes de T.P.

Élèves (fond de la classe)

Un optikit* PIERRON avec diaphragmes $d : 0,8 - 2 - 4 - 10$ mm et on réalise une lunette astronomique $L_1 = 180$ mm,

$$L_2 = 30 \text{ mm} \qquad G = 6$$

ou lunette de Galilée

- la lunette est montée sur un pied (support + pince) dans le fond de la salle,
- la pince serre la partie médiane de la lunette,
- la partie avant sera régulièrement démontée pour implanter les divers diaphragmes,
- la partie arrière devra coulisser pour la mise au point sur les trous «source»,
- deux filtres (rouge et bleu) du coffret d'optique (PIERRON) prévoir un support devant l'objectif pour poser le filtre coloré devant la lunette.

Bureau

Deux projecteurs de diapositives avec :

- un cache percé d'un trou d'épingle (C_1),
- un cache percé de trois couples de trous (C_2) simulant trois couples d'étoiles de distances.

$S_1 S_2 = a :$

$$a_1 = 2 \text{ mm} \quad ; \quad a_2 = 4 \text{ mm} \quad ; \quad a_3 = 6 \text{ mm}.$$

Ces doublets doivent être bien éclairés et distants de 1 cm.

Chaque cache en carton est placé devant l'objectif du projecteur.

* L'optikit de PIERRON est un montage en kit à base de tubes coulissants, en carton, et de porte objectifs et oculaires. Il comporte des lentilles convergentes et divergentes, ainsi que des diaphragmes divers qui permettent d'en faire des maquettes des instruments d'optique du programme de la spécialité de TS (lunette astronomique, lunette de Galilée, téléobjectif, microscope, loupe, appareil photographique). Il permet de surcroît de réaliser une chambre noire et un spectroscopie à réseaux.

Son prix unitaire est de l'ordre de 150 F. TTC.

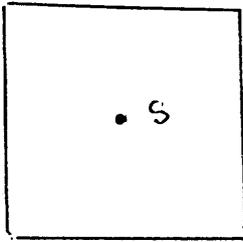


Figure 1 : C₁.

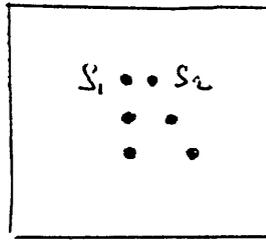


Figure 2 : C₂.

Le carton doit être opaque et l'épingle qui sert à faire les trous est classique.

Éventuellement, caméscope et TV couleur.

4. SCHÉMA DE PRINCIPE

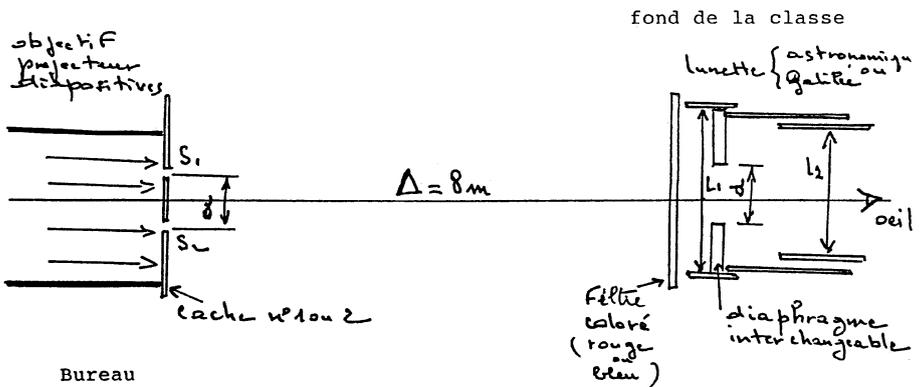


Figure 3

5. EXPÉRIENCES QUALITATIVES

5.1. Image d'une «étoile» (un trou) et diffraction

Expérience n° 1

Viser le cache 1 (une étoile rouge = filtre) la lunette est équipée successivement des diaphragmes $d = 10 - 4 - 2$ et $0,8$ mm.

Mettre au point et constater que :

- la latitude de mise au point augmente si d diminue,
- la luminosité décroît avec d ,
- avec $d = 2$ mm et, a fortiori, 0,8 mm, il apparaît des anneaux clairs et sombres autour de l'image, de plus en plus accentués, ($d = 0,8$ mm), avec un disque central (Airy - astronome attaché à Greenwich). C'est le phénomène de diffraction.

Expérience n° 2

Remplacer le filtre rouge par le filtre bleu (toutes choses égales par ailleurs - $d = 0,8$ mm).

Comparer les deux images, bleue et rouge, et la dimension des disques d'Airy.

5.2. Pouvoir séparateur

La lunette, équipée d'un filtre rouge, observe cette fois les couples de sources ponctuelles a_1, a_2, a_3 (cache n° 2) situés à $\Delta = 8$ m (mesure par exemple au télémètre à ultrasons : ... F dans le catalogue de...).

On commence par un diaphragme $d = 10$ mm, on met au point la lunette et on observe les couples d'images $S'_1 S'_2 - S''_1 S''_2 - S'''_1 S'''_2$.

Expérience n° 1 - $d = 10$ mm et λR

- Le flux lumineux entrant dans la lunette est important, le filtre rouge est absorbant et donne une image du doublet plus observable qu'en lumière blanche.
- La latitude de mise au point est faible (quelques dixièmes de millimètre).
- Les trois couples d'étoiles sont bien vus séparément.

Expérience n° 2 - $d = 4$ mm et λR

Après avoir placé le diaphragme, on remet au point :

- la latitude de mise au point augmente,
- la clarté des images diminue,

– si les couples a_3 et a_2 sont toujours vus séparément, en revanche le couple a_1 devient tangent (les disques d'Airy de chaque étoile augmentent et font se rapprocher plus vite, en apparence, les images les plus proches).

Expérience n° 3 - $d = 2 \text{ mm}$ et λR

- La latitude de mise au point augmente encore.
- La clarté des images diminue toujours.
- Si le couple a_3 reste bien séparé, en revanche le couple a_2 devient tangent et le couple a_1 n'est plus séparé (les taches centrales de diffraction des étoiles ont toutes augmenté jusqu'à la superposition pour les étoiles les plus rapprochées).

Expérience n° 4 - $d = 2 \text{ mm}$ et lumière bleue λB

Toutes choses égales par ailleurs, on change de filtre coloré. En lumière bleue, le couple a_2 semble mieux séparé qu'une lumière rouge.

Le couple a_1 semble moins superposé.

Conclusions

La diffraction est un phénomène qui se manifeste au niveau du diamètre d'ouverture de l'objectif d'un instrument d'optique.

Elle se traduit par une limitation du pouvoir séparateur de l'instrument d'observation. Ce pouvoir à séparer décroît (le pouvoir séparateur augmente) si le diamètre d'ouverture diminue et si, pour une ouverture donnée, la longueur d'onde des rayons lumineux augmente.

Applications

De deux lunettes astronomiques, 50×800 et 60×800 , celle qui a le meilleur pouvoir séparateur est la seconde ($d = 60 \text{ mm}$).

Le constructeur de la lunette 60×800 , qui équipe les lycées, précise dans sa notice que le pouvoir séparateur de sa lunette est de :

$$\varepsilon = 2'' \left(\varepsilon = \frac{1,22 \lambda}{d} \right)$$

avec $\lambda = 550 \text{ nm}$

et $d = 60 \text{ mm}$

Le microscope PIERRON qui équipe les lycées dispose d'un filtre bleu destiné à améliorer le pouvoir séparateur du microscope.

Expérience n° 5 - $d = 0,8 \text{ mm}$ et λR

Après mise au point, on constate que :

- les images ont perdu considérablement en clarté ; le flux lumineux entrant a été divisé depuis le début par $\left(\frac{100}{8}\right)^2 = 155 !$
- les trois couples d'étoiles a_1 , a_2 et a_3 apparaissent désormais confondus,
- si l'on revient en lumière bleue, la confusion des «étoiles» est moins nette.

N.B. : La même étude peut être conduite avec la lunette de Galilée de l'OPTIKIT et la lunette astronomique PERL 60×800 qui peut recevoir l'oculaire ($10 \times$) micrométrique.

Le caméscope peut être placé derrière l'oculaire de la lunette.

6. ASPECT QUANTITATIF DU PROBLÈME

(pour professeur - et à approfondir)

d (mm)	0,8	2	4	10
$\gamma_R = \frac{1,22 \lambda_R}{d}$ (m rad)	1,22	0,48	0,24	0,12
$\gamma_\beta = \frac{1,22 \lambda_\beta}{d}$ (m rad)	0,61	0,24	0,12	0,06
$\alpha = \frac{a}{\Delta}$ (m rad)	$\alpha_1 = 0,25$ $\alpha_2 = 0,50$ $\alpha_3 = 0,75$			
$\beta = G_\alpha$ $\beta = G_\alpha$ (m rad)	$\beta_1 = 1,50$ $\beta_2 = 3,00$ $\beta_3 = 4,50$			

On fait l'hypothèse que la lunette est afocale :

$$\overline{OA} = - 8,00 \text{ m}$$

$$\overline{OF}_1 = - 0,18 \text{ m}$$

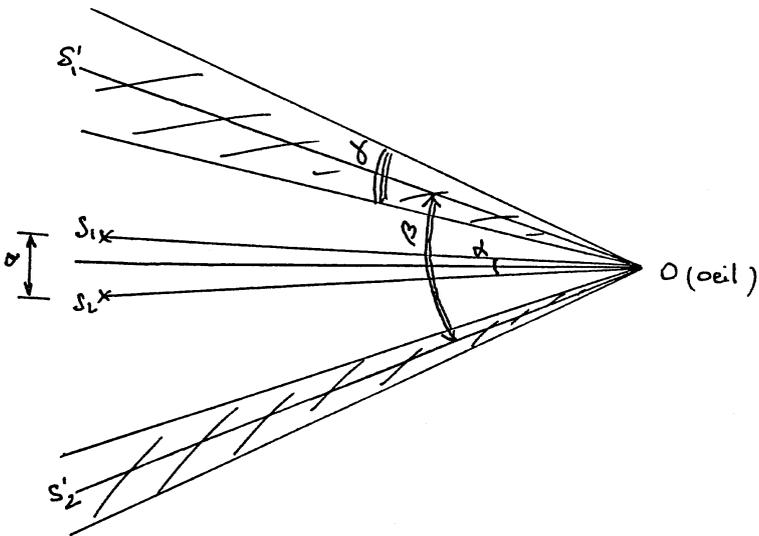


Figure 4